

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи з дисципліни
**«Фізичні властивості та сучасні методи дослідження
напівпровідникових мікро- і нанорозмірних структур»**
для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр»
спеціальності 8.05080101
«Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 04.06.14

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Фізичні властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових мікро- і нанорозмірних структур» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» спеціальності 8.05080101 «Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої» / Уклад.: В.Р. Копач, Г.С. Хрипунов, Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – 39 с.

Укладачі: В.Р. Копач,
Г.С. Хрипунов,
Р.В. Зайцев
М.В. Кіріченко

Рецензент доц. І.В. Федорін

Кафедра фізичного матеріалознавства для електроніки та
геліоенергетики

ВСТУП

Метою викладання дисципліни «Фізичні властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових мікро- і нанорозмірних структур» є професійна підготовка в галузі фундаментальних засад експериментального дослідження сучасними методами електричних і фотоелектричних властивостей, електронних, електричних та функціональних параметрів шарових монокристалічних і полікристалічних напівпровідникових структур з мікро- й нанорозмірними складовими, котрі є найбільш актуальними для застосування в приладах і пристроях електронної техніки та геліоенергетики.

Згідно з цим, важливим завданням дисципліни є забезпечення студентів відповідними ґрунтовними науково-практичними навичками, для формування яких поряд з лабораторним практикумом передбачено необхідність виконання курсової роботи. Курсову роботу студенти виконують за затвердженою кафедрою фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики (ФМЕГ) тематикою, узгодженою з навчальною програмою дисципліни, напрямками науково-дослідної роботи кафедри ФМЕГ і науковим керівником роботи.

Протягом курсової роботи зусилля студентів повинні бути спрямованими на вирішення головних складових її мети:

- удосконалення навичок самостійного виконання наукових досліджень з використанням сучасної вимірювальної та обчислювальної техніки;

- закріплення та розширення знань з відповідного лекційного курсу та лабораторного практикуму;

- розширення досвіду роботи зі спеціальною науково-технічною літературою, формування умінь не тільки засвоювати інформацію, а й критично оцінювати її та систематизувати для оптимального використання при вирішенні задач, поставлених перед виконавцем курсової роботи;

- розширення навичок пошуку необхідної науково-технічної інформації з використанням мережі Інтернет, а також електронного відображення текстової та графічної інформації;

- удосконалення знань і умінь щодо ґрунтовного аналізу результатів експериментальних й теоретичних досліджень, отриманих при виконанні курсової роботи, формулювання кінцевих висновків на підставі цього аналізу та оформлення звіту про курсову роботу відповідно до існуючих вимог.

Ці методичні вказівки розроблено на основі відповідних науково-технічних й методичних напрацювань кафедри ФМЕГ НТУ «ХПІ» та загальних вимог до виконання текстових документів у сфері навчального процесу в НТУ «ХПІ» [1].

1 ТЕМИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Кожний студент обирає окрему тему курсової роботи із затвердженого кафедрою ФМЕГ переліку тем:

1. Визначення діодних параметрів кремнієвих фотоелектричних перетворювачів за їх темною вольт-амперною характеристикою.

2. Вивчення методом вольт-фарадної характеристики наслідків тривалого зберігання лабораторних зразків плівкових фотоелектричних перетворювачів з *CdS/CdTe* гетеропереходом.

3. Дослідження часу життя неосновних носіїв заряду в одноперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачах після дії на них стаціонарного магнітного поля.

4. Залежність вихідних параметрів багатоперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів від особливостей опромінення і температури.

5. Фотострум і вихідні параметри багатоперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів при дії на них однорідного магнітного поля.

6. Дослідження спектральної залежності фотовідгуку діодних структур на основі кристалічного кремнію.

7. Дослідження спектральної залежності коефіцієнта квантової ефективності плівкових гетеросистем *CdS/CdTe*.

8. Розрахунок термо-е.р.с. в напівпровіднику при відсутності режиму квазінейтральності.

9. Залежність кінетичних параметрів телуриду вісмуту від стехіометричного складу.

10. Дослідження теплоємності твердих розчинів *Bi-Sb*.

Можливе розширення переліку запропонованих тем стосовно до нових напрямків проведення наукових досліджень на кафедрі ФМЕГ, що відповідатимуть суті навчальної програми дисципліни «Фізичні властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових мікро- і нанорозмірних структур».

2 ЗМІСТ, ОБСЯГ І ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота виконується на п'ятому курсі у 9-му семестрі і складається з проведення досліджень за обраною темою, звіту про курсову роботу та ілюстративних матеріалів (плакатів або мультимедійної презентації) до її захисту у комісії кафедри ФМЕГ з захисту курсових робіт.

Обсяг курсової роботи визначається з огляду на те, що кожний студент працює над нею протягом семестру до 6 годин на тиждень.

На першому тижні семестру після обрання студентом теми роботи він отримує від свого керівника відповідне до теми завдання, проходить інструктаж з техніки безпеки на робочому місці й, узгоджуючи зі своїм керівником, складає план роботи в лабораторії кафедри ФМЕГ з урахуванням діючого розкладу занять та режиму роботи лабораторії. У подальшому керівник контролює виконання цього плану, а студент раз на два тижні доповідає керівнику про стан роботи.

Після докладного пояснення суті завдання і кінцевої мети роботи керівник забезпечує студента можливістю отримання об'єктів дослідження, а також вихідними даними. До вихідних даних належать посилання на основні літературні джерела науково-технічної інформації за темою роботи, звіти з подібних тем, що розроблялися в лабораторії раніше (науково-технічні звіти, звіти про курсові й випускні дипломні роботи), матеріали виконаних на кафедрі і захищених дисертацій та інші. Вихідні дані використовуються студентом при складанні аналітичного огляду, опису методик дослідження, співставленні напрацьованих ним результатів з одержаними раніше. При цьому поряд з вихідними даними,

отриманими від керівника, студент має опрацьовувати додаткову науково-технічну інформацію за темою курсової роботи, яку він самостійно розшукує завдяки бібліотечним каталогам та інформаційним ресурсам мережі Інтернет.

Протягом терміну виконання роботи студент отримує від керівника необхідні рекомендації щодо техніки експерименту або теоретичних досліджень і опрацювання експериментальних даних, а також консультації з обговорення і узагальнення напрацьованих результатів, з написання кінцевих висновків та з оформлення звіту про курсову роботу і підготовки до її захисту.

Деякі найбільш суттєві із зазначених рекомендацій наведено у наступному розділі.

3 МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДОСЛІДЖУВАНИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Вимірювання і аналітичне опрацювання темнових вольт-амперних характеристик кремнієвих фотоелектричних перетворювачів

Завданням цих досліджень є визначення темнових діодних параметрів кремнієвих фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) – коефіцієнта ідеальності діода A , діодного струму насичення I_0 , дифузійної компоненти діодного струму насичення I_{01} , рекомбінаційної компоненти діодного струму насичення I_{02} , послідовного опору R_{Π} і шунтувального опору $R_{\Pi\Pi}$ - з метою використання отриманих результатів для подальшого аналізу рівня досконалості діодної структури приладів зазначеного типу. Можливість визначення перелічених параметрів за вимірною темною вольт-амперною характеристикою (ВАХ) впливає з теоретично обґрунтованих співвідношень, що при $R_{\Pi} \ll R_{\Pi\Pi}$ описують пряму гілку темної ВАХ у однодіодному та двоходіодному наближеннях згідно з [2] наступним чином:

$$I = I_{\Pi} + I_{\Pi\Pi} = I_0 \left[\exp \frac{q_e (U - IR_{\Pi})}{AkT} - 1 \right] + \frac{U}{R_{\Pi\Pi}} \quad (3.1)$$

та

$$I = I_{д1} + I_{д2} + I_{ш} = I_{01} \left[\exp \frac{q_e (U - IR_{п})}{A_1 k T} - 1 \right] + I_{02} \left[\exp \frac{q_e (U - IR_{п})}{A_2 k T} - 1 \right] + \frac{U}{R_{ш}}, \quad (3.2)$$

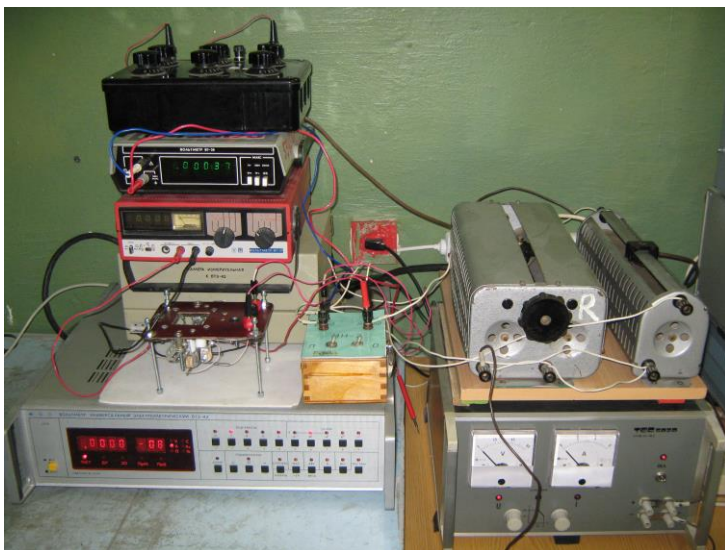
де: U – напруга на ФЕП; I – повний струм у ФЕП; $I_{д}$ – діодний струм у ФЕП; $I_{д1}$ – дифузійна компонента діодного струму; $I_{д2}$ – рекомбінаційна компонента діодного струму; $I_{ш}$ – компонента струму у діодній структурі, обумовлена її шунтувальним опором; q_e – абсолютне значення заряду електрона; k – стала Больцмана; T – температура; $A_1 = 1$; $A_2 = 2$; $A_1 \leq A \leq A_2$; $I_0 = G_1 I_{01} + G_2 I_{02}$; G_1 і G_2 – вагові коефіцієнти внесків величин I_{01} і I_{02} , відповідно, до величини I_0 .

Вимірювання статичних темнових ВАХ кремнієвих ФЕП здійснюється на постійному струмі модернізованим методом амперметра-вольтметра [3] за допомогою лабораторного стенду, загальний вигляд якого разом з його блок-схемою наведено на рисунку 3.1. Стабілізоване джерело постійного струму ТЕС-5020 через двоступеневий реостатний подільник забезпечує на клемх вимірювального кола напругу U_K , яка контролюється цифровим мультиметром В7-37. Сила струму I у ФЕП при $I \leq 10^{-4}$ А вимірюється мультиметром В7Е-42, а при $I > 10^{-4}$ А визначається шляхом вимірювання напруги U_C на струмовому опорі $R_C \leq 1$ Ом мультиметром В7-38, після чого сила струму у ФЕП і напруга U на ФЕП розраховуються за формулами:

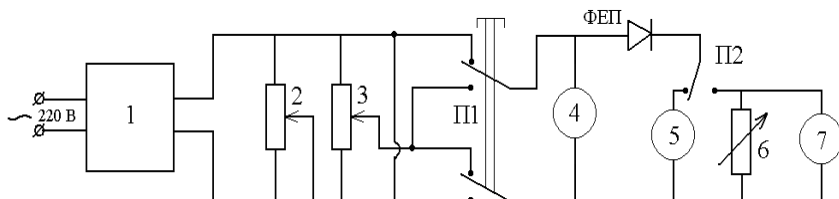
$$I = U_C / R_C, \quad (3.3)$$

$$U = U_K - U_C \quad (3.4)$$

Детальне вимірювання статичної темної ВАХ має виконуватись в діапазоні величин I та U , що відповідає області безпечного режиму (ОБР) [4] роботи досліджуваних ФЕП. Тому доцільним є попереднє експресне визначення ОБР роботи досліджуваних ФЕП шляхом візуалізації їх темнових ВАХ у прямому напрямку методом характеристографу на екрані приладу Л2-56, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.2.



а



б

- 1 – стабілізоване джерело постійного струму TEC-5020;
- 2, 3 – двоступеневий реостатний подільник напруги;
- 4 – мультиметр В7-37 для вимірювання напруги U_K у колі ФЕП;
- 5 – мультиметр В7Е-42 для виміру сили струму у ФЕП при $I \leq 10^{-4}$ А;
- 6 – магазин R33 з набором струмових опорів $R_C \geq 0,1$ Ом;
- 7 – мультиметр В7-38 для визначення сили струму у ФЕП при $I > 10^{-4}$ А;
- П1 – двопозиційний перемикач полярності напруги;
- П2 – двопозиційний перемикач для вибору способу виміру сили струму у ФЕП

Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд (а) та блок-схема (б) лабораторного стенду для вимірювання статичних темнових ВАХ досліджуваних ФЕП



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд промислового приладу Л2-56, який використовується для експресної візуалізації темнових ВАХ досліджуваних у курсовій роботі кремнієвих фотоелектричних перетворювачів

Використовуючи результати детального вимірювання темнових ВАХ, що зберігаються у відповідних файлах як масиви координат (U , I) усіх їх точок, подальше визначення діодних параметрів A , I_0 , R_{Π} і $R_{Ш}$ згідно з [3] може здійснюватись за допомогою ПЕОМ та розробленого на кафедрі ФМЕГ спеціального програмного забезпечення наступним чином. Після відображення на екрані монітору експериментальної темної ВАХ досліджуваного ФЕП її необхідно з мінімально можливою похибкою апроксимувати кривою, що описується співвідношенням (3.1), яке використовується у такому перетвореному вигляді:

$$I = B_1 U + B_2 [\exp(B_3 U - B_4 I) - 1], \quad (3.5)$$

де:

$$B_1 = 1/R_{Ш}, \quad (3.6)$$

$$B_2 = I_0, \quad (3.7)$$

$$B_3 = q_e/(AkT), \quad (3.8)$$

$$B_4 = q_e R_{\Pi}/(AkT). \quad (3.9)$$

Вказана апроксимація досягається при знаходженні оптимальних значень коефіцієнтів B_1 - B_4 внаслідок їх варіювання. Після цього параметри A , I_0 , R_{II} і R_{III} розраховуються ПЕОМ відповідно до співвідношень (3.6)-(3.9).

Для визначення темнових діодних параметрів I_{01} та I_{02} слід опрацювати експериментальні темнові ВАХ, користуючись співвідношенням (3.2), що описує їх у двохдіодному наближенні, а також вже знайденими значеннями R_{II} і R_{III} .

Першим етапом такого опрацювання має бути очищення прямої гілки експериментальної темрової ВАХ від впливу шунтувального опору, що здійснюється завдяки операції:

$$I(U) - I_{III}(U) = I(U) - \frac{U}{R_{III}} = I_D(U), \quad (3.10)$$

після чого у її складі залишаються тільки суто діодні компоненти

$$I_D(U) = I_{D1}(U) + I_{D2}(U) = I_{01} \left[\exp \frac{q_e(U - I_D R_{II})}{A_1 kT} - 1 \right] + I_{02} \left[\exp \frac{q_e(U - I_D R_{II})}{A_2 kT} - 1 \right]. \quad (3.11)$$

Відповідно до [5], наприклад, у випадку монокристалічних кремнієвих ФЕМ при $3kT/q_e \leq U < 15kT/q_e$ має місце нерівність $I_{D2} \gg I_{D1}$ і одиницею у дужках можна знехтувати, у зв'язку з чим

$$I_D \left(\frac{3kT}{q_e} \leq U < \frac{15kT}{q_e} \right) \approx I_{D2} \left(\frac{3kT}{q_e} \leq U < \frac{15kT}{q_e} \right) = I_{02} \left[\exp \frac{q_e(U - I_D R_{II})}{A_2 kT} \right], \quad (3.12)$$

а при $15kT/q_e < U \leq 25kT/q_e$ має місце нерівність $I_{D1} \gg I_{D2}$, у зв'язку з чим

$$I_D \left(\frac{15kT}{q_e} < U \leq \frac{25kT}{q_e} \right) \approx I_{D1} \left(\frac{15kT}{q_e} < U \leq \frac{25kT}{q_e} \right) = I_{01} \left[\exp \frac{q_e(U - I_D R_{II})}{A_1 kT} \right] \quad (3.13)$$

Після логарифмування співвідношень (3.12) і (3.13) десятичним логарифмом для вказаних значень U маємо:

$$\lg \left[I_D \left(\frac{3kT}{q_e} \leq U < \frac{15kT}{q_e} \right) \right] \approx \lg \left[I_{D2} \left(\frac{3kT}{q_e} \leq U < \frac{15kT}{q_e} \right) \right] =$$

$$= \lg I_{02} + \left[\frac{q_e (U - I_D R_{II})}{A_2 kT} \right] \lg e$$

$$\lg \left[I_D \left(\frac{15kT}{q_e} < U \leq \frac{25kT}{q_e} \right) \right] \approx \lg \left[I_{D1} \left(\frac{15kT}{q_e} < U \leq \frac{25kT}{q_e} \right) \right] =$$

$$= \lg I_{01} + \left[\frac{q_e (U - I_D R_{II})}{A_1 kT} \right] \lg e$$

де: $e = 2,718\dots$ – основа натурального логарифму.

Зі співвідношень (3.14) і (3.15) виходить, що величини I_{01} і I_{02} можуть бути визначені шляхом екстраполяції двох відповідних цим співвідношенням похилих прямолінійних гілок 1 і 2 зображеного на рисунку 3.3 графіка до їхніх перетинів з віссю $\lg I_D$ при $U - I_D R_{II} = 0$. Для кожного досліджуваного ФЕП значення $I_D(U)$ розраховуються за формулою (3.10) при використанні масиву координат (U, I) усіх точок експериментально виміряної темної ВАХ, після чого для цих значень $I_D(U)$ визначаються їх десяткові логарифми.

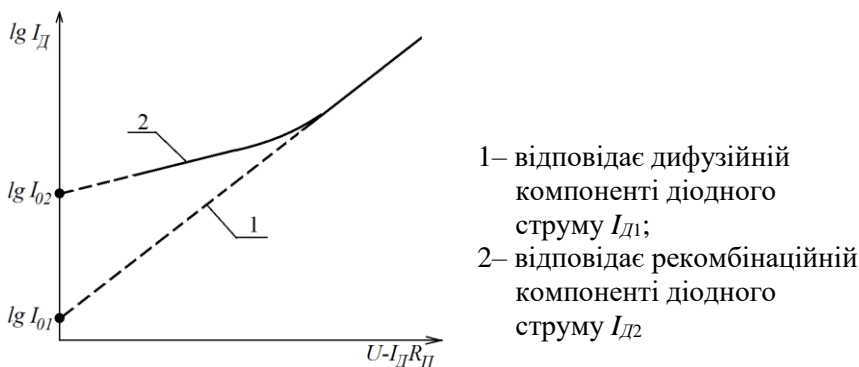


Рисунок 3.3 – Схематичне зображення у напівлогарифмічних координатах суто діодної складової темної ВАХ, яка загалом описується співвідношенням (3.11) при відповідності гілок 1 і 2 співвідношенням (3.15) і (3.14)

При розрахунку абсциси $U-I_{\text{д}}R_{\text{д}}$ кожної точки графіку, який будеється подібно до зображеного на рисунку 3.3, величина $I_{\text{д}}$ має відповідати використаній при розрахунку ординати цієї точки і саме цій величині $I_{\text{д}}$ має відповідати зумовлююча її величина U .

3.2 Вимірювання і аналітичне опрацювання темнових вольт-фарадних характеристик плівкових фотоелектричних перетворювачів з CdS/CdTe гетеропереходом

Завданням таких досліджень є спостереження методом темрової вольт-фарадної характеристики (ВФХ) за можливими змінами типу і ширини W випрямляючого p - n гетеропереходу, висоти Φ його потенційного бар'єра, загальної концентрації повністю іонізованих донорних N_D і акцепторних N_A центрів протягом тривалого зберігання лабораторних зразків плівкових ФЕП з шаровою структурою n^+ - ITO/n - CdS/p - $\text{CdTe}/\text{Cu}/\text{Au}$, виготовлених на скляній або поліамідній підкладках.

Вимірювання темнових ВФХ таких ФЕП здійснюється показанням на рисунку 3.4 промисловим приладом Е7-12, з яким досліджуваний ФЕП з'єднується за допомогою спеціального контактного пристрою і відповідного виносного блоку приладу (зліва на рисунку). Постійна напруга зміщення гетеропереходу змінюється у діапазоні $-2,0 < U < 2,0$ В за допомогою виносного пульта зміщення (справа на рисунку).

Опрацювання отриманої залежності ємності C від U для визначення перелічених вище електронних параметрів досліджуваних ФЕП з площею p - n гетеропереходу S відповідно до [6-8] виконується наступним чином.

Шляхом побудови графіка залежності питомої ємності C/S досліджуваного ФЕП від U у координатах типу

$$\left(\frac{S}{C}\right)^{\xi} - U \quad (3.16)$$

визначається величина ξ , що забезпечує лінеаризацію цієї залежності подібно до того, як показано на рисунку 3.5.

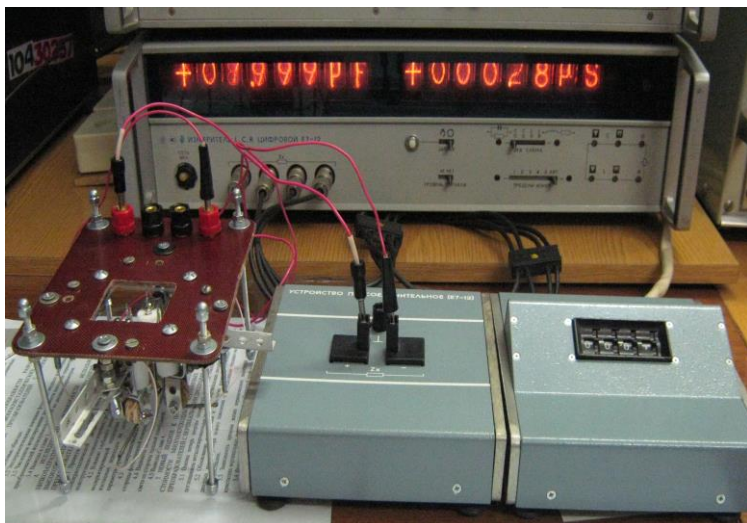


Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд промислового приладу E7-12, який використовується для вимірювання темнових ВФХ досліджуваних у курсовій роботі плівкових ФЕП з $CdS/CdTe$ гетеропереходом

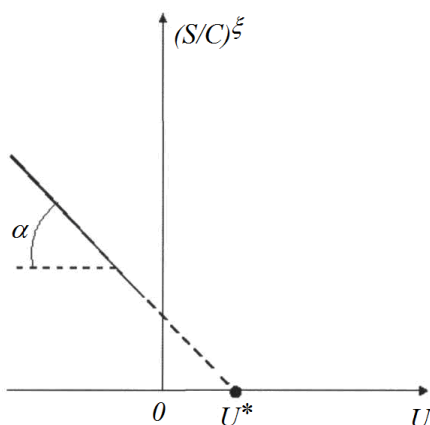


Рисунок 3.5 – Схематичне зображення графіка залежності питомої ємності C/S досліджуваного ФЕП від U , лінеаризованої у координатах $\left(\frac{S}{C}\right)^\xi - U$

Лінеаризація ВФХ у координатах типу (3.16) при $\xi = 2$ вказує на те, що p - n гетероперехід є різким. У цьому випадку параметр Φ визначається за точкою перетину продовження лінійного відрізка графіка до осі напруг U . Розрахунок Φ здійснюється за формулою

$$\Phi = q_e \cdot U^*, \quad (3.17)$$

де U^* - напруга, що відповідає точці перетину осі напруг продовженням до останньої лінійного відрізка графіка.

За цим графіком розраховується також параметр, пов'язаний з величинами N_D і N_A :

$$\frac{\varepsilon_n \varepsilon_p N_D N_A}{\varepsilon_n N_D + \varepsilon_p N_A} = \frac{2}{q_e \varepsilon_0 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.18)$$

де ε_0 - електрична стала, що дорівнює $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε_n - відносна діелектрична проникність CdS , що дорівнює 8,5; ε_p - відносна діелектрична проникність $CdTe$, що дорівнює 10,6.

Лінеаризація ВФХ у координатах типу (3.16) при $\xi > 2$ вказує на те, що p - n гетероперехід є плавним. У цьому випадку параметр Φ визначається як і у попередньому.

Параметр W , незалежно від характеру просторового розподілу іонізованих центрів, зважаючи на те, що $W = W_{CdTe} + W_{CdS}$, а $W_{CdTe} \gg W_{CdS}$, розраховується за формулою

$$W(U) \approx \varepsilon_0 \varepsilon_p S / C(U), \quad (3.19)$$

Визначення таким чином змін електронних параметрів гетеропереходу n - CdS/p - $CdTe$ плівкових ФЕП на стадії їх зберігання і порівняння з попередніми значеннями відповідних параметрів надає необхідні результати для поглиблення уяви стосовно механізму старіння і шляхів запобігання деградації цих ФЕП [9].

3.3 Визначення фотоструму і вихідних параметрів фотоелектричних перетворювачів за світловою вольт-амперною характеристикою

В залежності від типу ФЕП і змісту завдання щодо його дослідження вимірювання світлової ВАХ приладу здійснюється у спосіб, що забезпечує подальше визначення його фотоструму і вихідних параметрів з мінімально можливими похибками.

Стосовно багатоперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів з вертикальними діодними комітками (БП Si-ФЕП з ВДК) і з площею фотоприймальної поверхні $S \leq 10 \text{ см}^2$ [10, 11], призначених для роботи в умовах висококонцентрованого сонячного випромінювання, при дослідженні впливу на вказані параметри температури, магнітного поля і особливостей опромінення (зокрема, ступеня концентрації випромінювання K_B) найбільш доцільним є вимірювання навантажувальної світлової вольт-амперної характеристики в режимі імпульсного опромінення [12].

Навантажувальною світловою вольт-амперною характеристикою (НС ВАХ) фотоелектричного перетворювача при імпульсному опроміненні є залежність сили струму I_H у опорі R_H зовнішнього навантаження, під'єданого до клем опромінюваного ФЕП, від напруги U_H на цьому опорі при зміні величини R_H в діапазоні значень $0 \leq R_H \leq \infty$ і незмінному амплітудному значенні потужності випромінювання P_B на фотоприймальній поверхні приладу.

При аналітичному опрацюванні такої НС ВАХ поряд з фотострумом I_ϕ визначаються вихідні параметри приладу - струм короткого замикання I_{K3} ; напруга холостого ходу U_{XX} ; фактор заповнення FF навантажувальної світлової ВАХ; максимальна електрична потужність P_{HM} , що надходить від приладу у зовнішнє коло до опору навантаження R_H ; коефіцієнт корисної дії η .

Рівняння, що описує НС ВАХ зазначених приладів у однодіодному наближенні, є таким:

$$I_H = I_\phi - I_0 \left\{ \left[\exp \frac{q_e (U_H + I_H R_{II})}{A^* k T} \right] - 1 \right\} - \frac{U_H + I_H R_{II}}{R_{II}}, \quad (3.20)$$

де: $A^* = N_{ВДК}A$; $N_{ВДК}$ – кількість послідовно з'єднаних ідентичних вертикальних діодних комірок, A – коефіцієнт ідеальності діода однієї ВДК.

Сила струму короткого замикання відповідає максимальному значенню I_H , яке досягається у випадку $R_H = 0$ та $U_H = 0$ (короткозамкнений ФЕП) за умови фіксованого значення потужності випромінювання P_B на фотоприймальній поверхні приладу. Тому при $R_{II} \ll R_{III}$, що є типовим для якісних приладів, величина I_{K3} пов'язана з I_Φ і діодними параметрами співвідношенням

$$I_{K3} = I_\Phi - I_0 \left[\exp \left(\frac{q_e I_{K3} R_{II}}{A^* k T} \right) - 1 \right]. \quad (3.21)$$

Напруга холостого ходу відповідає максимальному значенню U_H , яке досягається для тих же умов опромінювання приладу при $R_H = \infty$ і $I_H = 0$ (зовнішнє коло розімкнене). Тому при $R_{II} \ll R_{III}$ величина U_{XX} пов'язана з I_Φ і діодними параметрами співвідношенням

$$U_{XX} = \frac{A^* k T}{q_e} \ln \left(\frac{I_\Phi - U_{XX} / R_{III}}{I_0} + 1 \right). \quad (3.22)$$

Фактор заповнення НС ВАХ і ККД неявно пов'язані з фотострумом і діодними параметрами приладу через величини I_{K3} і U_{XX} такими співвідношеннями:

$$FF = P_{HM} / (I_{K3} U_{XX}), \quad (3.23)$$

$$P_{HM} = I_{HM} U_{HM}, \quad (3.24)$$

де: I_{HM} і U_{HM} – ордината і абсциса так званої точки максимальної потужності M на НС ВАХ, добуток яких є найбільшим за усі інші добутки $P_H = I_H U_H$ координат кожної точки, що належить НС ВАХ;

$$\eta = \frac{P_{HM}}{P_B} \cdot 100\% = \frac{U_{XX} I_{K3} FF}{P_B} \cdot 100\% \quad (3.25)$$

Типовий вигляд НС ВАХ, що описується співвідношенням (3.20), схематично наведено на рисунку 3.6. На цьому рисунку показані характерні точки НС ВАХ, які відповідають двом вихідним параметрам БП Si-ФЕП з ВДК - I_{K3} і U_{XX} , а також точка M та її координати I_{HM} і U_{HM} , добуток яких згідно зі співвідношенням (3.24) визначає величину P_{HM} .

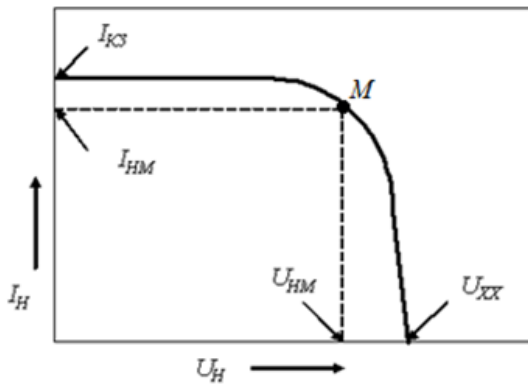


Рисунок 3.6 – Схематичне зображення типового вигляду навантажувальної світлової вольт-амперної характеристики БП Si-ФЕП з ВДК

Тому алгоритм аналітичного опрацювання експериментальної НС ВАХ досліджуваного приладу має складатися з таких основних операцій:

1) побудова НС ВАХ за експериментально отриманим масивом координат (U_H, I_H) її точок при $0 \leq R_H \leq \infty$;

2) визначення параметру I_{K3} як ординати точки НС ВАХ при $U_H = 0$ і параметру U_{XX} як абсциси точки НС ВАХ при $I_H = 0$;

3) визначення при використанні співвідношення (3.24) величини P_{HM} за координатами U_{HM} та I_{HM} точки M , добуток яких є найбільшим за усі інші добутки $P_H = I_H U_H$ координат кожної точки, що належить НС ВАХ;

- 4) визначення величини FF за співвідношенням (3.23);
- 5) визначення ККД за співвідношенням (3.25).

На практиці зазначений алгоритм може бути реалізовано як за допомогою програми електронних таблиць Excel, так і при використанні існуючого на кафедрі ФМЕГ НТУ «ХПІ» спеціально розробленого для цього програмного забезпечення.

У останньому випадку, використовуючи результати детального вимірювання навантажувальних світлових ВАХ, що зберігаються у відповідних файлах як масиви координат (U_H, I_H) усіх їх точок, подальше визначення фотоструму і вихідних параметрів згідно, наприклад, з [3] може здійснюватись за допомогою ПЕОМ наступним чином. Після відображення на екрані монітору ПЕОМ експериментальної НС ВАХ досліджуваного ФЕП її необхідно з мінімально можливою похибкою апроксимувати кривою, що описується співвідношенням (3.20), яке використовується у такому перетвореному вигляді:

$$I_H = A_0 - A_1 U_H - A_2 [\exp(A_3 U_H + A_4 I_H) - 1], \quad (3.26)$$

де:

$$A_0 = (I_\Phi + I_0) R_{III} / (R_{II} + R_{III}), \quad (3.27)$$

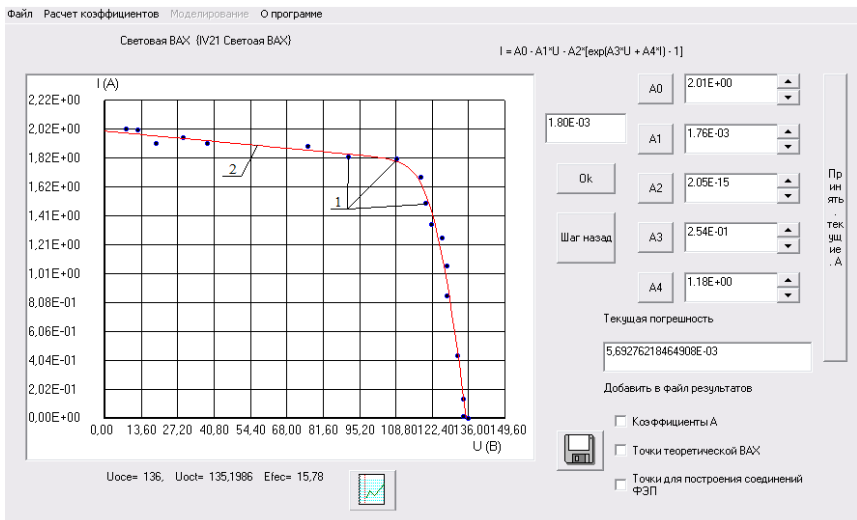
$$A_1 = 1 / (R_{II} + R_{III}), \quad (3.28)$$

$$A_2 = I_0 R_{III} / (R_{II} + R_{III}), \quad (3.29)$$

$$A_3 = q_e / (A^* k T), \quad (3.30)$$

$$A_4 = q_e R_{II} / (A^* k T). \quad (3.31)$$

Вказана апроксимація досягається при знаходженні оптимальних значень коефіцієнтів A_0 - A_4 внаслідок їх варіювання. Приклад такої апроксимації наведено на рисунку 3.7. Далі спочатку за оптимальними значеннями коефіцієнтів A_0 - A_4 і співвідношеннями (3.27)-(3.31) визначаються фотострум та діодні параметри БП Si-ФЕП, після чого вихідні параметри: $I_{KЗ}$, $U_{ХХ}$, FF , $P_{НМ}$, η разом з напругою $U_{НМ}$ і струмом $I_{НМ}$, що відповідають максимальній потужності $P_{НМ}$ у опорі навантаження, розраховуються ПЕОМ відповідно до співвідношень (3.21)-(3.26).



1 – точки экспериментальной ИС ВАХ; 2 – теоретична ИС ВАХ

Рисунок 3.7 – Зображення прикладу аналітичного опрацювання експериментальної навантажувальної світлової ВАХ за допомогою ПЕОМ

Для імпульсного опромінення БП Si-ФЕП з ВДК при вимірюванні ИС ВАХ використовується створений на кафедрі ФМЕГ імпульсний імітатор сонячного випромінювання, який за умови $K_B = 1$ здатний забезпечувати на фотоприймальній поверхні приладу амплітудне значення питомої потужності випромінювання $P_{B1}^* = 1360 \text{ Вт/м}^2$ зі спектральним складом, наближеним до заатмосферного сонячного (режим AM0 [13]). Вказаний імітатор складається зі студійного ксенонового фотоспалаху FALCON EYES SS-110B і масивного штативу, конструкція якого дозволяє контрольованим чином варіювати відстань $l_{K\phi}$ між лампою-спалахом і фотоприймальною поверхнею досліджуваного приладу, задаючи величиною $l_{K\phi}$ визначене шляхом попереднього калібрування необхідне значення K_B , яке відповідає співвідношенню

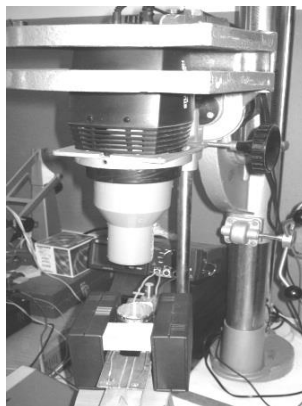
$$K_B = P_B / (P_{B1}^* \cdot S). \quad (3.32)$$

При $S \leq 10 \text{ см}^2$ і використанні додатково концентруючої профільованої насадки на апертурний отвір студійного ксенонового фотоспалаху це забезпечує можливість здійснювати однорідне опромінення фотоприймальної поверхні з $1 \leq K_B \leq 1000$.

Зовнішній вигляд вказаного студійного ксенонового фотоспалаху показано на рисунку 3.8, *а*. Рисунок 3.8, *б* ілюструє цей фотоспалах у складі імпульсного імітатора при забезпеченні $1 \leq K_B \leq 1000$.



а



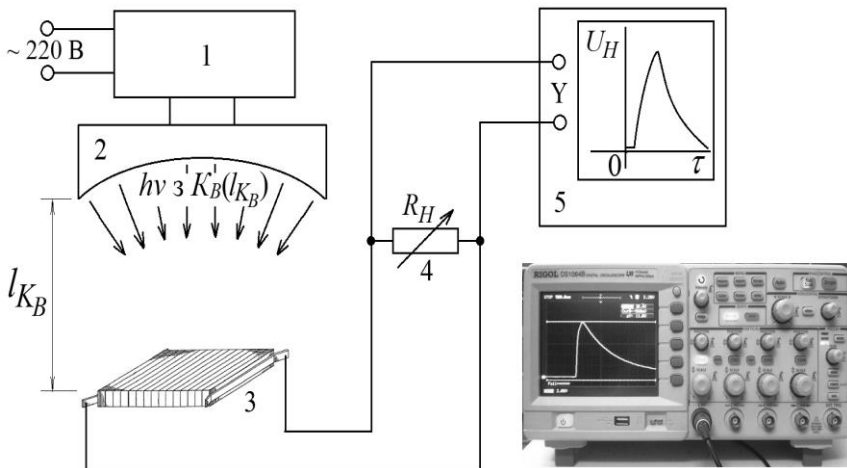
б

Рисунок 3.8 – Студійний ксеноновий фотоспалах FALCON EYES SS-110B (*а*) та імпульсний імітатор сонячного випромінювання на його основі для вимірювання навантажувальних світлових вольт-амперних характеристик БП Si-ФЕП з ВДК при ступенях концентрації випромінювання $1 \leq K_B \leq 1000$

Вимірювання НС ВАХ досліджуваних БП Si-ФЕП з ВДК при застосуванні такого імпульсного імітатора здійснюють за допомогою апаратурного комплексу, блок-схему якого наведено на рисунку 3.9

При імпульсному опромінюванні від імітатора 2 досліджуваний прилад 3 генерує фотострум, тривалість амплітудного значення сили якого приблизно відповідає тривалості основної фази горіння ксенонової лампи-спалаху, що складає 1-2 мс. Амплітудне значення фотоструму визначає амплітудне значення струму I_H у опорі навантаження 4 (зовнішнє

коло), що викликає появу амплітудної напруги U_H на опорі навантаження, величина якого R_H варіюється у діапазоні $1 \leq R_H \leq 10^6$ Ом за допомогою магазину активних опорів типу MAO-2.



1 – стабілізатор живлячої напруги типу SVEN AVR-3000; 2 – імпульсний імітатор сонячного світла; 3 – БП Si-ФЕП з ВДК; 4 - магазин змінних активних опорів R_H типу MAO-2; 5 - запам'ятовуючий цифровий осцилограф типу RIGOL DS1064B; $h\nu$ - світло зі ступенем концентрації K_B , що залежить від відстані l_{K_B}

Рисунок 3.9 - Блок-схема апаратурного комплексу для вимірювання напруги U_H на опорі навантаження R_H з прикладом реальної осцилограми залежності U_H від тривалості τ світлового імпульсу на екрані осцилографу RIGOL DS1064B

Це амплітудне значення U_H реєструється запам'ятовуючим цифровим осцилографом 5 типу RIGOL DS1064B, який працює у режимі очікуваної розгортки. Амплітудне значення струму I_H розраховується за цим амплітудним значенням U_H наступним чином:

$$I_H = U_H / R_H. \quad (3.33)$$

Дискретно змінюючи величину R_H у діапазоні $1 \leq R_H \leq 10^6$ Ом і визначаючи аналогічним чином для кожного такого значення R_H амплітудні значення U_H та I_H , можна отримати необхідний масив відповідних даних для побудови вимірної вказаним способом НС ВАХ при заданому значенні K_B .

Змінюючи відстань $L_{K\phi}$ між лампою-спалахом і фотоприймальною поверхнею досліджуваного приладу відповідно до результатів калібрування імпульсного імітатора можна задавати значення K_B , заплановані у завданні до курсової роботи, й при кожному такому значенні K_B здійснювати описаним вище способом вимірювання НС ВАХ досліджуваного приладу, варіюючи його температуру, у відсутності та за умови дії на нього однорідного магнітного поля.

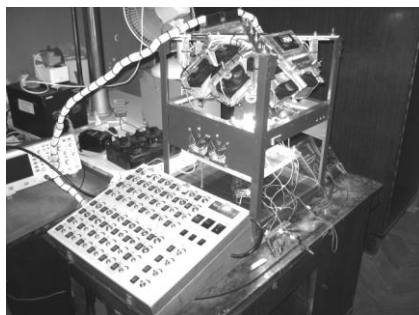
Суттєвою перевагою використання імітованого імпульсного опромінення при вимірюванні НС ВАХ є запобігання помітному радіаційному нагріванню БП Si-ФЕП з ВДК, що забезпечує суттєве підвищення точності визначення його фотоструму і вихідних параметрів при заданій температурі. Керування температурою досліджуваного приладу здійснюється шляхом його обдування повітрям контрольованої температури від тепловентилятора «Saturn» моделі ST-НТ7643 з максимальною потужністю нагрівача повітря 2 кВт. Температура зразка вимірюється за допомогою термопари, під'єднаної до нього і до цифрового мультиметра Mastech MS8040.

Методичні подробиці, пов'язані з вимірюванням НС ВАХ за умови дії на БП Si-ФЕП з ВДК однорідного магнітного поля, докладно розглянуто у [2, 12].

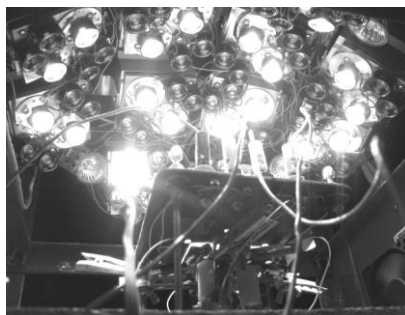
Стосовно одноперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів (ОП Si-ФЕП) з горизонтальною діодною структурою і площею фотоприймальної поверхні $S > 10$ см², призначених для роботи в умовах звичайного наземного сонячного випромінювання, при дослідженні впливу на фотострум, вихідні та діодні параметри попередньої дії стаціонарного магнітного поля найбільш доцільним є вимірювання світлової ВАХ компенсаційним методом в режимі стаціонарного опромінення [12]. Це пояснюється можливістю позбутися додаткового шунтування p - n переходу підвищеної площі реактивним опором його ємності, безпосередньо визначати струм короткого

замикання і напругу холостого ходу, більш надійно та експресно здійснювати вимірювання світлової ВАХ, що полегшує її аналітичне опрацювання з меншою похибкою у порівнянні з навантажувальною світловою ВАХ, виміряною при імпульсному опроміненні ФЕП.

Для вимірюванні світлової ВАХ компенсаційним методом в режимі стаціонарного опромінення при виконанні курсової роботи необхідно використовувати розроблений і виготовлений на кафедрі ФМЕГ універсальний світлодіодно-галогеновий імітатор сонячного випромінювання, здатний забезпечувати безперервне опромінення досліджуваних об'єктів площею до 25 см^2 світлом потужністю $1 \leq P_v^* \leq 4 \text{ кВт/м}^2$ з безперервним спектральним складом у діапазоні довжин хвиль $380 \leq \lambda \leq 1200 \text{ нм}$, що відповідає режимам АМ1,5 та АМ0 при керованому варіюванні ступеня концентрації випромінювання у діапазоні $1 \leq K_B \leq 4$ [12]. Загальний вигляд цього імітатора і вигляд власне його випромінювача з боку джерел випромінювання наведено на рисунку 3.10.



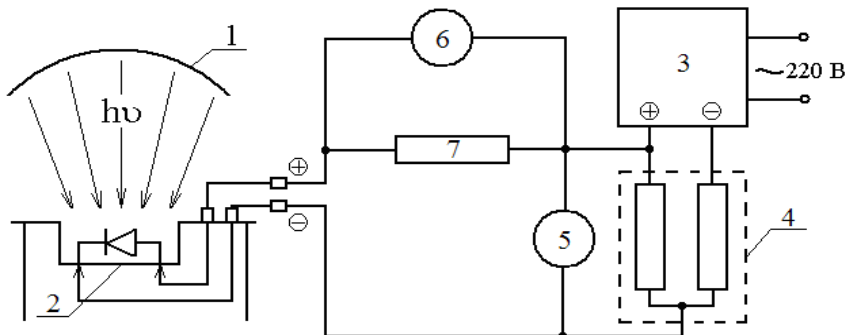
а



б

Рисунок 3.10 – Загальний вигляд універсального світлодіодно-галогенового імітатора сонячного випромінювання (а) і його випромінювача (б) з боку джерел випромінювання (темні ділянки відповідають позиціям інфрачервоних світлодіодів)

Блок-схему установки з таким імітатором сонячного випромінювання для вимірюванні світлової ВАХ компенсаційним методом в режимі стаціонарного опромінення ОП Si-ФЕП наведено на рисунку 3.11.



1 – універсальний світлодіодно-галогеновий імітатор сонячного випромінювання; 2 – ОП *Si*-ФЕП, закріплений у контактному пристрої; 3 – джерело стабілізованого постійного струму Huayi Electronics HY3020MR, котре використовується для ступінчастої компенсації електрорушійної сили ОП *Si*-ФЕП; 4 – резистивний подільник напруги з загальним опором 1,1 Ом і вихідним опором 0,1 Ом та можливістю розсіювати потужність до 100 Вт для забезпечення покрокової зміни напруги у вимірювальному колі через 0,01 В при покроковій зміні напруги на вході подільника через 0,1 В; 5 - мультиметр Mastech MS8268 для виміру компенсуючої напруги; 6 - мультиметр Mastech MS8040 для виміру напруги U_C на струмовому резисторі; 7 – струмовий резистор з опором $R_C = 0,011$ Ом

Рисунок 3.11 – Блок-схема установки для вимірювання компенсаційним методом у стаціонарному режимі опромінювання світлових ВАХ одноперехідних *Si*-ФЕП

Вимірювання світлової ВАХ компенсаційним методом за допомогою такої установки здійснюється шляхом визначення сили струму I у зовнішньому колі в залежності від ступінчато зростаючої напруги U , яка для компенсації електрорушійної сили опромінюваного приладу 2 подається на нього з вихідного опору подільника напруги 4 через струмовий резистор 7 у протилежній полярності, що відповідає прямому зміщенню p - n переходу. Напруга U вимірюється мультиметром 5, а сила струму I визначається за формулою:

$$I = U_C / R_C. \quad (3.34)$$

При цьому величині $U = 0$ відповідає $I = I_{K3}$, а величині $I = 0$ відповідає $U = U_{XX}$.

Загалом, при $0 \leq U \leq U_{XX}$ така світлова ВАХ у однодіодному наближенні стосовно першого квадранту декартових координат описується співвідношенням:

$$I = I_\phi - I_0 \left\{ \left[\exp \frac{q_e (U + IR_{II})}{AkT} \right] - 1 \right\} - \frac{U + IR_{II}}{R_{III}}, \quad (3.35)$$

де: A – коефіцієнт ідеальності діода ОП Si-ФЕП.

Наведений вище аналітичний опис світлової ВАХ, вимірюваної компенсаційним методом, відрізняється від співвідношення (3.20), що описує навантажувальну світлову ВАХ, лише відсутністю індексу «Н» при I та U , що не є перешкодою для тотожного аналітичного опрацювання світлових ВАХ, виміряних цими двома різними методами. Але для усіх параметрів, знайдених при опрацюванні світлової ВАХ, виміряної компенсаційним методом, на відміну від подібних параметрів, знайдених при опрацюванні НС ВАХ, індекс «Н» при них має бути відсутнім. Вказане відноситься і до графіка світлової ВАХ, виміряної компенсаційним методом, який за винятком відсутності індексу «Н» при I та U якісно не відрізняється від показаного на рисунку 3.6.

4 ВИМОГИ ДО ЗВІТУ ПРО КУРСОВУ РОБОТУ

4.1 Загальні вимоги

Звіт про курсову роботу оформлюється згідно з загальними вимогами до виконання текстових документів у сфері навчального процесу в НТУ «ХПІ» [1], має обсяг до 40-50 друкованих на принтері сторінок і починається з титульного аркушу, зразок якого наведено у додатку А.

Далі на окремих аркушах наводяться три реферати на українській, російській і англійській мовах, приклади яких надано, відповідно, у додатку Б, додатку В та додатку Г. Аркуші з рефератами не нумеруються, але враховуються в кількості сторінок курсової роботи.

Одразу за рефератами окремою сторінкою подають зміст звіту про курсову роботу. У змісті наводяться структурні елементи звіту у такій послідовності: вступ, найменування розділів та підрозділів основної частини звіту, висновки, перелік джерел інформації, додатки з зазначенням номерів сторінок, з яких починається кожний з вказаних елементів.

Після змісту до двох сторінок тексту відводиться на вступ.

За вступом викладаються розділи основної частини звіту: аналітичний огляд, методика дослідження (експерименту або теоретичних розрахунків), результати роботи та їх обговорення.

Далі окремими структурними елементами подаються висновки, перелік джерел інформації та додатки.

4.2 Вступ

У вступі необхідно подати стислу характеристику сучасного стану науково-технічної проблеми, якій присвячена курсова робота, відзначити актуальність та новизну розроблюваної теми.

Наприкінці вступу слід вказати мету роботи і задачі, які мають бути вирішені для її досягнення.

Окремо надається інформація щодо місця виконання роботи.

Історичні довідки, опис раніше надрукованих робіт та загальновідомі положення у вступі не наводять. Текст вступу на пункти не поділяють.

4.3 Аналітичний огляд

Аналітичний огляд є першим розділом основної частини звіту про курсову роботу, який повинен займати не більше 15 сторінок тексту.

У цьому розділі на підставі узагальнених результатів ґрунтовного аналізу відповідних до теми джерел науково-технічної інформації мають бути висвітленими сучасні досягнення, що стосуються об'єктів і методів дослідження, яким присвячена курсова робота.

Наприклад, у випадках тем курсової роботи, пов'язаних з фотоелектричними перетворювачами, доцільно висвітлити сучасний стан розробки конструктивно-технологічних рішень (КТР) найбільш ефективних приладів відповідного типу, проаналізувати вплив особливостей КТР на їх фотострум, електронні, діодні та вихідні параметри, розглянути метрологічні засоби для атестації таких приладів за вказаними параметрами. Поряд з критичним аналізом переваг і недоліків та перспектив подальшого удосконалення існуючих КТР доцільно розглянути можливість підвищення ККД фотоелектричних перетворювачів за рахунок дії на них магнітного поля і визначити, які з існуючих методів є найбільш придатними для дослідження особливостей зазначеного ефекту.

Цей розділ має завершуватись підрозділом з висновками до аналітичного огляду і обґрунтуванням на їх підставі мети та завдань курсової роботи за відповідною темою.

4.4 Методика дослідження

Методика дослідження є другим розділом основної частини звіту про курсову роботу, який повинен займати не більше 10 сторінок тексту.

У першому підрозділі цього розділу необхідно надати достатню інформацію стосовно об'єктів дослідження, до якої можуть належати природа їх походження, фотографії зовнішнього вигляду, схематичні зображення устрою загалом, зображення окремих мікро- або нанорозмірних елементів конструкції, еквівалентні електричні схеми, вихідні дані щодо відомих для них геометричних та фізичних параметрів, котрі відповідно до теми роботи є необхідними для наступних експериментальних, аналітичних або теоретичних досліджень.

Другий підрозділ цього розділу повинен містити достатню інформацію стосовно власно методик визначення тих параметрів досліджуваних об'єктів, про які йдеться у меті та задачах курсової роботи. При цьому необхідно надати:

1) фотографії зовнішнього вигляду, схематичні зображення і опис спеціально виготовлених пристроїв для електричного зв'язку досліджуваних об'єктів з вимірювальною апаратурою, для варіювання умов їх опромінення та дії на них магнітного поля;

2) блок-схеми та фотографії стендів і установок для вимірювання характеристик досліджуваних об'єктів, за якими визначаються їх параметри, з описом методик відповідних вимірювань;

3) опис методик аналітичного опрацювання виміряних характеристик для визначення параметрів досліджуваних об'єктів.

4.5 Результати та їх обговорення

Цей розділ є третім розділом основної частини звіту про курсову роботу, який повинен займати не більше 15 сторінок тексту.

Перший підрозділ цього розділу містить наведені у вигляді графіків з описом їх особливостей результати вимірювання характеристик досліджуваних об'єктів (темнові вольт-амперні і вольт-фарадні характеристики, навантажувальні світлові вольт-амперні характеристики, світлові вольт-амперні характеристики, виміряні компенсаційним методом, тощо), а також узагальнені у відповідних таблицях результати аналітичного опрацювання таких експериментальних даних (фотострум, вихідні, діодні та деякі електронні параметри).

У другому підрозділі цього розділу обговорюються наслідки та механізми впливу температури, магнітного поля і особливостей опромінення на параметри об'єктів дослідження, а також перспективи практичного використання отриманих результатів.

4.6 Висновки

У висновках коротко формулюються основні результати курсової роботи щодо виконання завдань наукового дослідження, а також вказуються перспективи практичного впровадження цих результатів.

Текст висновків слід поділяти на пункти, які нумеруються арабськими цифрами.

4.7 Список джерел інформації

Джерелами інформації є книги, статті, нормативно-технічні документи, звіти про науково-дослідну роботу, дисертації, патенти, тощо, опубліковані у вигляді окремих документів.

До списку джерел інформації включають ті джерела інформації, на які надані посилання у тексті звіту, а бібліографічні описи джерел

інформації виконують згідно з [1] і розташовують у тому порядку, в якому вони вперше згадуються у тексті звіту.

5 ПОРЯДОК ЗАХИСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

У визначений кафедрою ФМЕГ термін студент подає закінчений звіт про курсову роботу керівнику курсової роботи, який після ознайомлення зі звітом дає рекомендації щодо усунення можливих недоліків та стосовно підготовки до офіційного захисту роботи.

Для забезпечення якості підготовки до офіційного захисту керівник курсової роботи може запропонувати проведення неофіційного захисту курсової роботи в лабораторії, де вона виконувалась у присутності керівника і співробітників лабораторії.

Офіційний захист курсової роботи відбувається у комісії з захисту курсових робіт, до складу якої входять викладачі, наукові співробітники і аспіранти кафедри ФМЕГ. Графік роботи комісії визначається на засіданні кафедри ФМЕГ і заздалегідь доводиться до відома студентів. Студент захищає роботу на засіданні комісії, на якому крім її голови і членів можуть бути присутніми інші студенти.

Студент надає комісії для ознайомлення звіт про курсову роботу і виступає з презентацією курсової роботи, в якій необхідно відобразити такі питання:

- тема курсової роботи; місце її виконання; прізвище, ім'я та по-батькові, а також посада керівника курсової роботи;
- актуальність теми, поставлені мета і завдання;
- вихідні дані про об'єкти дослідження;
- методика експериментальних та теоретичних досліджень;
- отримані результати, їхнє трактування і характеристика науково-практичної значущості;
- висновки за результатами курсової роботи.

Для презентації студенту відводиться не більше 10 хвилин. Тому викладання матеріалу має бути лаконічним. Після презентації члени комісії задають студенту запитання стосовно викладеного матеріалу і з суміжної тематики. Запитання може також поставити кожен із присутніх

на захисті. Відповіді на запитання мають бути вичерпними, але короткими та чіткими.

Оцінки виставляються на закритому засіданні комісії одразу після захисту курсової роботи усіма студентами. При цьому комісія приймає до уваги такі показники: якість презентації, вірність відповідей на запитання, ступінь самостійності виконання роботи, правильність отриманих результатів, якість оформлення звіту з урахуванням його відповідності вимогам стандартизації, відгук і оцінку керівника роботи. Оголошення виставлених комісією оцінок здійснюється публічно одразу після її засідання у присутності усіх виконавців курсової роботи. Результати захисту курсової роботи оцінюються з використанням Європейської кредитно-трансферної системи (ЄКТС) (за шкалою «А», «В», «С», «D», «Е», «FX», «F») та національної системи («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно»).

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1 СТБУЗ-ХПІ-3.01.-2010. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання. – Введ. 24.02.2010.

2 Методичні вказівки до лабораторних робіт «Дослідження електронних параметрів і рекомбінаційних процесів в діодних напівпровідникових структурах за їх вольт-амперними, вольт-фарадними і амплітудно-часовими характеристиками» з розділів модуля «Сучасні методи дослідження мікро- та нанорозмірних напівпровідникових структур» дисципліни «Фізичні властивості та сучасні методи дослідження мікро- та нанорозмірних напівпровідникових структур» для студентів спеціальності 7(8).05080101 «Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої» / Уклад.: В.Р. Копач, Г.С. Хрипунов, Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – 59 с.

3 Кіріченко М.В. Удосконалення кремнієвих фотоелектричних перетворювачів широкомасштабного застосування та методів їх атестації : дис. канд. техн. наук : 01.04.07 : захищена 28.02.11 / Кіріченко Михайло Валерійович. Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України, Харків - 2011. – 258 с.

4 Тугов Н.М., Полупроводниковые приборы / Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков– М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

5 Фаренбрух А. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / А. Фаренбрух, Р. Бьюб – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.

6 Берман Л.С. Емкостные методы исследования полупроводников / Берман Л.С. - Л.: Наука, 1972. – 104 с.

7 Хрипунов Г.С. Влияние тыльного контакта на электрические свойства пленочных солнечных элементов на основе CdS/CdTe / Г.С. Хрипунов // Физика и техника полупроводников, 2006. – Т. 40. – Вып. 1. – С. 117-121.

8 Шарма Б.Л. Полупроводниковые гетеропереходы / Б.Л. Шарма, Р.К. Пурохит - М.: Радио и связь, 1979. – 232 с.

9 Хрипунов Г.С. Влияние длительного хранения и напряжения прямой поляриности на КПД пленочных солнечных элементов на основе CdS/CdTe / Г.С. Хрипунов, В.Р. Копач, А.В. Мериуц, Р.В. Зайцев, М.В.

Кириченко, Н.В. Дейнеко // Физика и техника полупроводников, 2011. – Т. 50. – Вып. 11. – С. 1564-1570.

10 Копач В.Р. Удосконалення та застосування багатоперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів з вертикальними діодними комірками / В.Р. Копач, М.В. Кіріченко, Р.В. Зайцев, Н.В. Куца, Г.О. Лук'янова, Г.С. Хрипунов // Технічна електродинаміка: Тематичний випуск «Силовa електроніка та енергоефективність», 2010. - Ч. 2. - С. 289-292.

11 Стребков Д.С. Матричные солнечные элементы. В 3-х томах. Том 1./ Д.С. Стребков – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2009. – 120 с.

12 Зайцев Р.В. Застосування магнітного поля для підвищення ККД кристалічних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів : дис. канд. техн. наук : 01.04.07 : захищена 13.05.13 / Зайцев Роман Валентинович. Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України, Харків - 2013. – 252 с.

13. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов / М.М. Колтун – М.: Наука, 1985. – 280 с.

ДОДАТОК А

Зразок оформлення титульного аркуша

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Харківський політехнічний інститут (НТУ "ХПІ")

Кафедра фізичного матеріалознавства для електроніки та геліонергетики (ФМЕГ)

УДК 621.472:629.78

ЗВІТ

про курсову роботу

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОПЕРЕХІДНИХ
КРЕМНІЄВИХ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВІД ОСОБЛИВОСТЕЙ
ОПРОМІНЮВАННЯ І ТЕМПЕРАТУРИ

Керівник курсової роботи:
доцент кафедри ФМЕГ

В.Р. Копач

Виконавець курсової роботи:
студент групи ФТ-58м

Є.І. Мирошкіна

2013

33

ДОДАТОК Б

Зразок написання реферату українською мовою

РЕФЕРАТ

Звіт про курсову роботу: 53 с., 28 рис., 6 табл., 16 джерел

Ключові слова: БАГАТОПЕРЕХІДНІ КРЕМНІЄВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ, ДВОСТОРОННЯ ЧУТЛИВІСТЬ, ФОТОПРИЙМАЛЬНА ПОВЕРХНЯ, КОНЦЕНТРАЦІЯ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ФОТОСТРУМ, ВИХІДНІ ПАРАМЕТРИ, ККД

Об'єкти дослідження – багатоперехідні монокристалічні кремнієві фотоелектричні перетворювачі (БП *Si*-ФЕП) з вертикальними діодними комірками (ВДК) p^+-n-n^+ типу та з двосторонньою чутливістю і площею фотоприймальної поверхні 1 см^2 з кожного боку.

Мета роботи – отримання вихідних даних для визначення оптимальних умов використання сучасних високоефективних БП *Si*-ФЕП з ВДК у складі сонячних фотоенергетичних установок (ФЕУ) концентраторного типу.

Методика дослідження – аналітичне опрацювання навантажувальних світлових вольт-амперних характеристик, вимірюаних при ступенях концентрації $1 \leq K_B \leq 500$ імітованого сонячного випромінювання зі спектральним складом, який відповідає режиму АМ0, і температурах $25 \leq T \leq 55 \text{ }^\circ\text{C}$ в умовах опромінювання фронтальної, тильної та одночасно обох фотоприймальних поверхонь цих приладів.

Отримано залежності рівня енерговіддачі й ККД досліджуваних об'єктів від K_B і T , які мають сприяти обґрунтованому вибору оптимальних умов використання аналогічних БП *Si*-ФЕП з ВДК у складі фотоенергетичних установок концентраторного типу як за ступенем концентрації сонячного випромінювання, так і за температурою експлуатації в залежності від конкретних технічних вимог користувачів до таких ФЕУ.

ДОДАТОК В

Зразок написання реферату російською мовою

РЕФЕРАТ

Отчет о курсовой работе: 53 с., 28 рис., 6 табл., 16 источников

Ключевые слова: МНОГОПЕРЕХОДНЫЕ КРЕМНЕВЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ДВУСТОРОННЯЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, ФОТОПРИЕМНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, КОНЦЕНТРАЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ФОТОТОК, ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, КПД

Объекты исследования – многопереходные монокристаллические кремниевые фотоэлектрические преобразователи (БП *Si*-ФЭП) с вертикальными диодными ячейками (ВДЯ) p^+-n-n^+ типа с двусторонней чувствительностью и площадью фотоприемной поверхности 1 см^2 с каждой стороны.

Цель работы – получение исходных данных для определения оптимальных условий использования современных высокоэффективных БП *Si*-ФЭП с ВДЯ в солнечных фотоэнергетических установках (ФЭУ) концентраторного типа.

Методика исследования – аналитическая обработка нагрузочных световых вольт-амперных характеристик, измеренных при степенях концентрации $1 \leq K_B \leq 500$ имитируемого солнечного излучения со спектральным составом, который соответствует режиму АМ0, и температурах $25 \leq T \leq 55\text{ }^\circ\text{C}$ в условиях облучения фронтальной, тыльной и обеих фотоприемных поверхностей этих приборов.

Получены зависимости уровня энергоотдачи и КПД исследуемых объектов от K_B и T , которые должны способствовать обоснованному выбору оптимальных условий использования аналогичных БП *Si*-ФЭП с ВДЯ в составе фотоэнергетических установок концентраторного типа как по степени концентрации солнечного излучения, так и по температуре эксплуатации в зависимости от конкретных технических требований пользователей к таким ФЭУ.

ДОДАТОК Г

Зразок написання реферату англійською мовою

ABSTRACT

Undergraduate thesis: 53 p., 28 fig., 6 tables, 16 references

Key words: MULTI-JUNCTION SILICON SOLAR CELL, BILATERAL SENSITIVITY, PHOTORECEIVER SURFACE, CONCENTRATED SOLAR RADIATION, TEMPERATURE, PHOTOCURRENT, EXTERNAL PARAMETERS, EFFICIENCY

The objects of research – multi-junction monocrystalline silicon solar cells (MJ Si-SC) with vertical diode cells (VDC) of p^+-n-n^+ type with bilateral sensitivity and photoreceiver surface area of 1 cm^2 on each side.

The aim of the investigation –baseline data obtaining to determine the optimal conditions for the use of modern high-efficiency MJ Si-SC with VDC in solar photovoltaic system (PVS) of concentrator type.

Methods of study – analytical processing of load illuminated current-voltage characteristics of two high-efficiency MJ Si-SC with VDC measured at a concentration of $1 \leq K_B \leq 500$ simulated solar radiation with a spectral composition that corresponds to the AM0, and at the temperature range of $25 \leq T \leq 55\text{ }^\circ\text{C}$ under irradiation of the front surface, back surface and of the both photoreceiving surfaces of these devices.

The dependences of energy efficiency level and of the objects efficiency on K_B and T , which should help for the inform choice of optimum conditions using of similar MJ Si-SCs with VDC in the concentrator photovoltaic systems such as the degree of concentration of solar radiation and the temperature of operation, depending on the specific technical requirements of the users to such PVS.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Теми курсової роботи.....	4
2 Зміст, обсяг і порядок виконання курсової роботи.....	5
3 Методичні особливості визначення параметрів досліджуваних об'єктів.....	6
4 Вимоги до звіту про курсову роботу.....	25
5 Порядок захисту курсової роботи.....	29
Список джерел інформації.....	31
Додаток А Зразок оформлення титульного аркуша.....	33
Додаток Б Зразок написання реферату українською мовою.....	34
Додаток В Зразок написання реферату російською мовою.....	35
Додаток Г Зразок написання реферату англійською мовою.....	36

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання курсової роботи з дисципліни
«Фізичні властивості та сучасні методи дослідження
напівпровідникових мікро- і нанорозмірних структур»
для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр»
спеціальності 8.05080101
«Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої»**

Укладачі: КОПАЧ Володимир Романович
ХРИПУНОВ Геннадій Семенович
ЗАЙЦЕВ Роман Валентинович
КІРІЧЕНКО Михайло Валерійович

Відповідальний за випуск А.В. Меріуц

План 2014 р.

Підписано до друку 10.01.15. Формат 60×84 1/16. Папір друк. №2.
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,0.
Обл.-вид. 2,5. Тираж 50 прим. Зам. № _____. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”. 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Друкарня НТУ “ХПІ”. 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.